饲粮添加木薯渣对羔羊生长性能、血清指标及瘤胃发酵指标的影响[1]

吕小康　王　杰　王世琴　崔　凯　刁其玉　张乃锋*

（中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点开放实验室，北京　100081）

摘　要：本试验旨在研究饲粮中添加不同比例木薯渣对羔羊生长性能、营养物质表观消化率、血清指标及瘤胃发酵指标的影响。试验选取 3~4 月龄、体重相近、健康状况良好的断奶湖羊羔羊 96 只，采用单因素随机分组设计方法，随机分为 4 组，每组 6 个重复，每个重复 4 只，分别在饲粮中添加 0（对照）、5％、10％、20％的木薯渣，配制成等能等氮的 4 种饲粮。预试期 10 d，正试期 45 d。结果表明：1）饲粮添加不同比例木薯渣对羔羊的终末体重、平均日采食量及营养物质表观消化率均无显著性影响（$P>0.05$），但随着木薯渣的添加比例升高，平均日增重、料重比呈一次线性升高和降低（$P<0.05$）。2）随木薯渣添加比例的升高，血清总抗氧化能力（T-AOC）呈先降低再升高的二次曲线变化（$P=0.007$），对照组最高；血清谷胱甘肽还原酶（GSH）活性呈先升高后降低的二次曲线变化（$P=0.001$），10％组显著高于其他各组（$P<0.05$）；血清丙二醛（MDA）含量变化不显著（$P>0.05$）；血清超氧化物歧化酶（SOD）活性呈一次线性降低（$P=0.010$）。4）随着饲粮中木薯渣添加比例的提高，血清总蛋白（TP）和白蛋白（Alb）含量均呈一次线性和二次曲线变化（$P<0.05$）；血清白球比（A/G）、门冬氨酸氨基转移酶（AST）活性、甘油三酯（TG）和球蛋白（Glb）含量呈二次曲线变化（$P<0.05$）；血清尿酸（UA）和肌酐（Crea）含量呈一次线性变化（$P<0.05$）；各组之间血清丙氨酸氨基转移酶（ALT）活性和葡萄糖（GLU）含量差异不显著（$P>0.05$）。5）饲粮木薯渣添加比例对生长羔羊瘤胃液的 pH,乙酸、丙酸、丁酸、异戊酸、戊酸浓度及乙酸/丙酸无显著性影响（$P>0.05$）。综合得出，饲粮中添加木薯渣提高了羔羊生长性能，但高添加比例的木薯渣会对羔羊抗氧化能力和肾脏造成损害，建议木薯渣添加比例低于 20%为宜。

关键词：木薯渣；羔羊；生长性能；表观消化率；血清指标；瘤胃发酵

中图分类号：S826

收稿日期：2017-04-06

基金项目：国家公益性行业（农业）科研专项（201303143）；国家肉羊产业技术体系建设专项（CARS-39）

作者简介：吕小康（1994-），男，山西长治人，硕士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail：13121991399@163.com

*通信作者：张乃锋，研究员，硕士生导师，E-mail: zhangnaifeng@caas.cn

目前，饲料成本在动物产品生产中占了 65%~75%，甚至更高，饲料成本成为制约畜牧业发展的关键因素[1]。随着我国农业快速发展，糟渣类饲料的应用越来越广泛[2]。我国每年木薯渣的产量高达 150 万 t[3]，如此大的产量，若不能充分利用，势必造成巨大的浪费。木薯在南方地区产量丰富，且与大豆秸相比，价格相对便宜。木薯渣是木薯加工后的副产物，木薯渣纤维素和氨基酸含量丰富[4]，富含多种对动物有益的微量元素与维生素。将木薯渣作为非常规饲料，可以有效地节约粮食，提高畜牧业经济效益[5]，保护环境，减少污染。近年来，木薯渣在畜牧业上的应用成为了一个研究热点，在鸡[6]、牛[7-8]和猪[9]上均有报道。反刍动物与单胃动物相比，虽能够更好地消化利用纤维含量高的木薯渣，但木薯渣本身含有氢氰酸、单宁和植酸等抗营养因子，限制了木薯渣在反刍动物上的利用，因此探索木薯渣在反刍动物上的适宜添加比例十分必要。用木薯渣代替玉米饲喂育肥牛，结果发现在育肥牛饲粮中添加 15%的木薯渣饲喂效果最好[10]。在奶牛饲粮中木薯渣的添加比例可以达到 12.5%[11]。用液体木薯渣（干物质含量 67%）替代玉米饲喂绵羊，发现 25%（折合干物质含量 16.8%）的替代比例也可行[12]。随着耕地的逐年减少，饲料原料不足已经成为制约我国畜牧业发展的关键因素。将糟渣类作为饲料原料，具有价格低，来源广，供应充足等优点[13]，能够有效缓解饲料原料供应不足的局面。南方地区木薯渣产量丰富，将其作为生长羔羊的饲料原料，具有巨大的经济和环保效益。但木薯渣在生长羔羊饲粮中的适宜添加比例及其对羔羊生长与健康的影响鲜见报道。目前木薯渣在反刍动物饲粮中的适宜添加比例并没有达成共识，且多在 20%以下。探究木薯渣应用于生长羔羊饲粮的效果与可行性符合国家号召，具有重大意义。因此，本试验旨在研究木薯渣对羔羊生长性能、营养物质表观消化率、血清指标和瘤胃发酵指标的影响，以确定木薯渣在羔羊羊饲粮中的适宜添加比例，为木薯渣的应用提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验动物及试验设计

试验选取 3~4 月龄、体重相近，健康状况良好的断奶湖羊羔羊 96 只，采用单因素随机分组设计方法，随机分为 4 组，每组 6 个重复，每个重复 4 只，A(对照)、B、C、D 组木薯渣在饲粮中的添加比例分别为 0、5%、10%、20%。预试期 10 d，正试期 45 d。饲养试验结束后，测定有关湖羊生长性能的指标；空腹采血测定湖羊血液指标；采集湖羊瘤胃液，测定

瘤胃发酵指标；正试期第 35 天开始进行消化代谢试验，测定营养物质表观消化率。

1.2 试验饲粮

试验所用原料均为就近采购。采用常规法测定其营养水平（表 1），参见张丽英[14]的方法，代谢能（ME）及代谢蛋白质（MP）计算参照刘洁[15]的方法。按照本实验室研究关于 25 kg 杂交羔羊日增重 200 g 的营养需要[16]配制饲粮（代谢能需要量为 9.25 MJ/d，可代谢蛋白质需要量为 64.91 g/d）。各组在饲粮中的添加不同比例木薯渣，通过调整配方达到饲粮的等能等氮，试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 饲料原料营养水平（干物质基础）

Table 1 Feed ingredient nutrient levels (DM basis) %

原料 Ingredients	干物质 DM	代谢能 ME/(MJ/kg)	粗蛋白质 CP	代谢蛋白质 MP	粗脂肪 EE	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	钙 Ca	总磷 TP
玉米 Corn	87.25	11.59	7.78	5.34	3.50	9.40	3.50	0.06	0.22
麸皮 Bran	91.05	9.92	17.71	12.09	4.00	37.00	13.00	0.11	0.62
豆粕 Soybean meal	92.93	11.7	42.26	31.59	1.90	13.60	9.60	0.28	0.52
木薯渣 Cassava residue	90.16	8.62	2.58	1.81	0.22	75.34	24.48	0.67	0.03
大豆秸粉 Soybean straw	90.71	8.30	5.70	3.99	0.72	65.03	44.06	1.09	0.13
玉米秸秆（风干） Corn straw (air-dried)	93.65	8.81	7.53	5.27	1.33	65.57	36.05	0.45	0.12
豆腐渣（风干）Bean curd residue (air-dried)	93.25	10.03	18.14	12.69	3.34	42.99	28.69	0.77	0.20

营养水平除代谢能、代谢蛋白质外均为实测值。表 2 同。

Nutrient levels were all measured values except ME and MP. The same as Table 2.

表 2 试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 2 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis) %

项目 Items	组别 Groups			
	A	B	C	D
原料 Ingredients				
玉米 Corn	23.4	23.4	21.8	20.7
麸皮 Bran	7.5	7.0	8.5	8.5
豆粕 Soybean meal	15.5	16.0	16.0	17.0
木薯渣 Cassava residue	0.0	5.0	10.0	20.0
大豆秸粉 Soybean straw	27.0	22.0	17.0	7.0
豆腐渣（风干） Bean curd residue (air-dried)	6.0	6.0	6.0	6.0
玉米秸秆（风干） Corn straw (air-dried)	18.0	18.0	18.0	18.0

石粉 Limestone	0.1	0.1	0.2	0.3
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.2	1.2	1.2	1.2
预混料 Premix	1.0	1.0	1.0	1.0
食盐 NaCl	0.3	0.3	0.3	0.3
合计 Total	100.0	100.0	100.0	100.0
营养水平 Nutrient levels				
干物质 DM	91.19	91.18	91.22	91.23
总能 GE/(MJ/kg)	16.88	16.68	16.93	16.97
代谢能 ME/(MJ/kg)	10.63	10.66	10.64	10.66
粗蛋白质 CP	15.00	14.97	14.95	14.97
代谢蛋白质 MP	10.79	10.78	10.76	10.80
粗脂肪 EE	2.48	2.41	2.35	2.20
中性洗涤纤维 NDF	42.79	43.24	44.23	45.38
酸性洗涤纤维 ADF	25.65	24.56	23.63	21.54
钙 Ca	0.87	0.84	0.86	0.86
总磷 TP	0.44	0.45	0.45	0.46

预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 12 000 IU，VD 2 000 IU，VE 40 IU，Cu 12 mg，Fe 65 mg，Mn 58 mg，Zn 60 mg，I 1.2 mg，Se 0.4 mg，Co 0.4 mg。

1.3 饲养管理

试验于 2016 年 8-9 月在江苏省泰州市西来原生态农业有限公司开展，试验羊自由采食与饮水，保持圈内清洁干燥，定期进行消毒。试验开始和正试期第 30 天分别对每组羔羊称重，以计算平均日增重（ADG）；同时，每天记录每栏羔羊的采食量及剩料量，以计算平均日采食量（ADFI）和料重比(F/G)。

1.4 样品收集与检测

正试期第 35 天，采用全收粪法进行消化试验。预试期 5 天，正试期 5 天。每组随机选取 4 只羊单独放入代谢笼中，每天收集粪便，以备常规成分分析。

正试期第 45 天，早上饲喂 3 h 后，每重复随机选取 2 只羔羊，通过胃管取瘤胃液约 50 mL，随即测定 pH，然后用 4 层纱布过滤，滤液中加入 2 滴 10% $HgCl_2$ 溶液，灭活酶的活性、灭活瘤胃微生物；将滤液分装入 3 个 15 mL 的冻存管中，冷冻(-20 ℃)保存，备测氨态氮（NH_3-N）和挥发性脂肪酸（VFA）浓度。瘤胃液置于 4 ℃解冻后采用苯酚-次氯酸钠比色法检测瘤胃液氨态氮浓度，用气相色谱法测定瘤胃液 VFA 浓度。

正试期第 45 天，早上饲喂前 1 h，每个重复组随机选取 1 只羔羊于前腔静脉采血 10 mL，3 000 r/min 离心 20 min，分离血清，并于-20 ℃保存待检测。

1.5 数据统计分析

试验数据采用SAS 9.4 单因素方差分析(one-way ANOVA)方法进行组间差异显著性统计，并利用多项式比较组间的直线及二次曲线关系。以$P<0.05$ 作为差异显著的判别标准。

2 结果与分析

2.1 饲粮添加木薯渣对羔羊生长性能的影响

如表 2 所示，羔羊初始体重的组间差异不显著（$P>0.05$），符合试验要求。饲粮添加不同比例木薯渣对羔羊的终末体重、平均日采食量均无显著性影响（$P>0.05$）。随着木薯渣的添加比例提高，羔羊平均日增重呈一次线性增加（$P=0.001$），料重比呈一次线性降低（$P=0.002$），其中，D 组的平均日增重显著高于 A、B 组（$P<0.05$），C 组平均日增重显著高于 A 组（$P<0.05$），C、D 组料重比显著低于 A 组（$P<0.05$）。

表 2 饲粮添加木薯渣对生长羔羊生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary cassava residue supplementation on growth performance of lambs

（$n=96$）

项目 Items	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value		
	A	B	C	D		组别 Groups	线性 Linear	二次 Quadratic
初始体重 IBW/kg	21.58	21.00	21.00	21.33	0.21	0.727		
终末体重 FBW/kg	28.76	28.68	29.47	30.62	0.31	0.091	0.215	0.584
平均日采食量 ADFI/g	1 107.19	1 090.30	1 120.59	1 145.05	9.59	0.232	0.099	0.277
平均日增重 ADG/g	239.33^{c}	256.00^{bc}	282.33^{ab}	309.53^{a}	8.68	0.011	0.001	0.695
料重比 F/G	4.91^{a}	4.33^{ab}	4.02^{b}	3.71^{b}	0.12	0.018	0.022	0.597

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)，相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2 饲粮添加木薯渣对羔羊营养物质表观消化率的影响

如表 3 所示，饲粮添加不同比例的木薯渣对羔羊各营养物质的表观消化率均无显著影响（$P>0.05$）。

表 3 饲粮添加木薯渣对羔羊营养物质表观消化率的影响

Table 3 Effects of dietary cassava residue supplementation on nutrient apparent digestibility of lambs （$n=16$） %

项目 Items	组别 Groups					*P* 值 *P*-value		
	A	B	C	D	SEM	组别 Groups	线性 Linear	二次 Quadratic
干物质 DM	83.78	83.87	82.30	83.92	0.75	0.875	0.877	0.648
有机物 OM	83.59	84.13	82.63	84.93	0.77	0.7978	0.743	0.606
粗蛋白质 CP	86.54	87.45	87.03	87.85	0.82	0.962	0.675	0.980
总能 GE	84.46	84.30	83.06	84.81	0.74	0.878	0.982	0.563
粗脂肪 EE	87.54	85.90	88.24	87.50	0.62	0.634	0.710	0.733
中性洗涤纤维 NDF	81.99	81.80	81.21	82.32	0.80	0.976	0.960	0.722
酸性洗涤纤维 ADF	70.34	70.14	68.52	72.25	1.29	0.824	0.747	0.494

2.3 饲粮添加木薯渣对羔羊血清抗氧化指标的影响

如表 4 所示，随木薯渣添加比例增加，血清总抗氧化能力（T-AOC）呈现先降低后升高的二次曲线变化（*P*=0.007），B 组显著低于 A、D 组（*P*<0.05）。随木薯渣添加比例增加，血清谷胱甘肽还原酶（GSH）活性呈先升高后降低的二次曲线变化（*P*=0.001），C 组显著高于其他各组（*P*<0.05）。随木薯渣添加比例增加，血清超氧化物歧化酶（SOD）活性呈一次线性降低（*P*=0.010），B、D 组显著低于 A、C 组（*P*<0.05）。A、B、C 和 D 组之间血清丙二醛（MDA）含量差异不显著（*P*>0.05）。

表 4 饲粮添加木薯渣对生长羔羊血清抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of dietary cassava residue supplementation on serum antioxidant indexes of lambs （*n*=24）

项目 Items	组别 Groups					*P* 值 *P*-value		
	A	B	C	D	SEM	组别 Groups	线性 Linear	二次 Quadratic
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	28.61[a]	21.62[b]	25.12[ab]	26.19[a]	0.90	0.014	0.471	0.007
谷胱甘肽还原酶 GSH/(μmol/L)	27.25[b]	28.87[b]	36.52[a]	24.74[b]	1.43	<0.001	0.985	0.001
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	104.70[a]	64.76[b]	103.25[a]	73.43[b]	5.57	<0.001	0.010	0.211
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	5.60	6.08	6.26	6.18	0.21	0.755	0.381	0.571

2.4 饲粮添加木薯渣对羔羊血清生化指标的影响

如表 5 所示，随着饲粮中木薯渣添加比例的提高，血清 TP 含量呈一次线性（*P*=0.023）和二次曲线变化（*P*<0.001），Alb 含量呈一次线性（*P*=0.001）和二次曲线变化（*P*<0.001）Glb 含量呈二次曲线变化（*P*<0.001），A/G 呈二次曲线变化（*P*<0.001）。B、C 组血清 TP 含量显著高于 A、D 组（*P*<0.05），C 组血清 Alb 含量显著高于其他各组（*P*<0.05），B、C 和 D 组血清 Glb 含量显著高于 A 组（*P*<0.05），B、C 和 D 组血清 A/G 显著低于 A 组（*P*<0.05）。

各组之间血清 GLU 含量无显著性差异（*P*>0.05），随着饲粮中木薯渣添加比例的提高，

TG 含量呈二次曲线变化（P<0.001），B、C 组显著高于 A、D 组（P<0.05）。各组之间血清 ALT 活性差异不显著（P>0.05），AST 活性呈二次曲线变化（P<0.001），A、D 组血清 AST 活性显著高于 B、C 组（P<0.05）。随木薯渣添加比例的增加，血清 UA 含量呈一次线性变化（P=0.001），Crea 含量呈一次线性变化（P<0.001），D 组 UA 含量显著高于 A、B 组（P<0.05），各组之间 Crea 含量差异显著（P<0.05），D 组最高，A 组最低。

表 5　饲粮添加木薯渣对羔羊血清生化指标的影响

Table 5　Effects of dietary cassava residue supplementation on serum biochemical indexes of lambs （n=24）

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	A	B	C	D		组别 Groups	线性 Linear	二次 Quadratic
总蛋白 TP/(g/L)	66.63^{c}	71.43^{b}	78.60^{a}	67.53^{c}	1.46	<0.001	0.023	<0.001
白蛋白 Alb/(g/L)	43.17^{b}	33.97^{d}	46.30^{a}	41.27^{c}	1.37	<0.001	0.001	<0.001
球蛋白 Glb/(g/L)	23.47^{d}	37.47^{a}	32.30^{b}	26.27^{c}	1.66	<0.001	0.306	<0.001
白球比 A/G	1.84^{a}	0.91^{d}	1.43^{c}	1.57^{b}	0.10	<0.001	0.157	<0.001
甘油三酯 TG/(mmol/L)	1.63^{b}	1.98^{a}	1.97^{a}	1.36^{c}	0.08	<0.001	0.009	<0.001
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	7.87	7.79	7.92	6.25	0.29	0.089	0.050	0.121
丙氨酸氨基转移酶 ALT/(U/L)	29.87	23.30	27.87	27.47	1.11	0.203	0.774	0.159
门冬氨酸氨基转移酶 AST/(U/L)	33.67^{a}	28.10^{b}	20.53^{b}	33.10^{a}	1.86	<0.001	0.515	<0.001
尿酸 UA/(μmol/L)	282.03^{c}	316.10^{bc}	371.40^{ab}	403.03^{a}	16.42	0.009	0.001	0.952
肌酐 Crea/(μmol/L)	103.73^{d}	148.60^{b}	129.07^{c}	168.97^{a}	7.51	<0.001	<0.001	0.590

2.5　饲粮添加木薯渣对羔羊瘤胃发酵指标的影响

如表 6 所示，不同比例木薯渣添加比例对生长羔羊瘤胃液的 pH、总挥发性脂肪酸（TVFA）、乙酸、丙酸、乙酸/丙酸、丁酸、戊酸、异戊酸含量无显著性影响（P>0.05）。随着饲粮中木薯渣添加比例的提高，瘤胃液氨态氮浓度呈一次线性变化（P=0.010），A 组显著高于 D 组（P<0.05），异丁酸含量呈一次线性变化（P=0.015），A 组显著高于 C、D 组（P<0.05）。

表 6　饲粮添加木薯渣对羔羊瘤胃发酵指标的影响

Table 6　Effects of dietary cassava residue supplementation on rumen fermentation indexes of lambs （n=48）

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value		
	A	B	C	D		组别 Groups	线性 Linear	二次 Quadratic
pH	6.86	6.88	6.70	6.84	0.06	0.733	0.687	0.627
氨态氮 NH_3-N/（mg/dL）	25.27^{a}	21.66^{ab}	21.24^{ab}	14.99^{b}	1.40	0.053	0.010	0.059
总挥发性脂肪酸 TVFA/（mmol/L）	77.53	73.67	78.95	78.29	3.19	0.948	0.809	0.819

乙酸 Acetic acid/（mmol/L）	51.06	49.02	52.23	52.50	2.12	0.946	0.714	0.802
丙酸 Propionic acid/（mmol/L）	13.19	13.72	14.00	14.75	0.60	0.854	0.398	0.932
丁酸 Butyric acid/（mmol/L）	10.52	8.69	10.53	8.96	0.57	0.556	0.596	0.915
异丁酸 Isobutyric acid/（mmol/L）	0.86^{a}	0.71^{ab}	0.60^{b}	0.60^{b}	0.04	0.075	0.015	0.354
戊酸 Valeric acid/（mmol/L）	0.81	0.65	0.73	0.65	0.06	0.754	0.451	0.767
异戊酸 Isovaleric acid/（mmol/L）	1.10	0.87	0.86	0.83	0.05	0.754	0.090	0.330
乙酸/丙酸 Acetic acid/propionic acid	3.84	3.66	3.75	3.58	0.08	0.725	0.372	0.968

3 讨 论

3.1 饲粮添加木薯渣对羔羊生长性能的影响

已有研究表明，用糟渣类饲料饲喂羊能够取得良好的效果[17-18]。本试验中，羔羊平均日采食量无显著差异。Phoemchalard 等[19]在小母牛上的研究发现，木薯渣副产品对小母牛干物质采食量无显著影响。同样 Gibb 等[20]曾报道了相似结果，这与本试验结果相一致。然而 Filho 等[12]用 25%的液体木薯渣（干物质含量 67%）饲喂羊，发现随饲粮中木薯渣添加比例的增加，平均日采食量显著增加，产生这种现象的原因有 2 点：第一，本试验各组饲粮之间中性洗涤纤维（NDF）含量基本一致，而 NDF 的含量是影响干物质采食量的主要因素[21]，所以各组间平均日采食量差异不显著。第二，纤维含量高、能量和蛋白质水平低的饲粮降低动物的采食量[22]，而本试验各组间纤维、蛋白质含量和能量基本相同，所以各组平均日采食量差异不显著。高俊峰[23]在黑山羊研究中发现，木薯渣的添加比例超过 5%，随添加比例的增加，平均日增重逐渐升高、料重比逐渐降低，这与本试验的结果一致，即随着饲粮中木薯渣添加比例的增加，生长性能提高。

3.2 饲粮添加木薯渣对羔羊营养物质表观消化率的影响

目前，木薯渣消化率在牛羊上还没有被报道，但张潇月等[24]在獭兔上的研究表明，木薯渣的消化率达到 89.92%，这为本研究提供了基础。本试验中 4 组之间试验羊的干物质、有机物、粗蛋白质、NDF 和酸性洗涤纤维（ADF）的表观消化率差异均不显著。Guimarães 等[25]曾报道在生长羔羊饲粮中添加木薯皮对营养物质表观消化率无显著性影响。然而，Dos Santos 等[7]研究发现，随着木薯渣添加比例的增加，试验牛的干物质、有机物、粗蛋白质和 NDF 的表观消化率降低，之所以与本试验结果不同可能是因为 Dos Santos 等[7]试验中随木薯皮添加比例增加，NDF 和 ADF 的含量也随之增加，导致了营养物质消化率的下降。瘤胃中纤维消化率的下降会导致与降解蛋白质相关的微生物数量的下降，进而导致蛋白质的消化率下降[21]。但本试验各组饲粮间 NDF 和 ADF 的含量基本接近，所以 4 组间生长羔羊的干物

质、有机物、粗蛋白质、NDF 和 ADF 的表观消化率差异均不显著[26]。本试验发现，4 组之间粗脂肪的表观消化率差异不显著。而 Guimarães 等[25]曾报道随木薯皮的添加比例的增加，粗脂肪的表观消化率呈线性提高，这可能与木薯皮中的脂肪更易消化有关。高俊峰[23]在黑山羊的研究表明，随着木薯渣添加比例的增加，试验组之间干物质、粗纤维、粗蛋白质、粗脂肪和总能的表观消化率均显著提高，这与本试验结果不一致，原因可能与发酵过后的木薯渣营养水平全面提高动物更易消化吸收有关[18]。总的来说，在生长羔羊饲粮中添加木薯渣对生长羔羊营养物质的表观消化率无显著影响，表明生长羔羊饲粮中添加木薯渣是可行的，为充分利用量大价廉的非常规饲料提供了技术支撑。

3.3　饲粮添加木薯渣对羔羊血清抗氧化指标的影响

抗氧化体系能够保护机体免受自由基的损伤，反映抗氧化能力的指标包括 T-AOC、SOD、GSH 及 MDA[27-28]，SOD 与 GSH 是动物机体内 2 种重要的抗氧化酶，能够清除体内的自由基，防止氧化应激对机体造成损伤，二者之间相互协调完成机体抗氧化。MDA 是脂质过氧化的产物，能够引起膜脂和膜蛋白交联，使细胞产生功能障碍，其含量的高低能够反映机体脂质过氧化的程度。T-AOC 是机体总抗氧化能力，是机体抗氧化能力的综合指标。如果机体抗氧化能力受到损伤，则表现为血清 T-AOC 下降，SOD 和 GSH 活性下降，MDA 含量升高。本试验血清 T-AOC 随木薯渣添加比例的增加先下降后上升；血清 GSH 活性随木薯渣添加比例的增加先上升后下降，血清 SOD 活性呈一次线性变化，血清 MDA 含量变化不显著。血清 GSH 和 SOD 活性、T-AOC 下降和 MDA 含量升高均表明饲喂高添加比例木薯渣的饲粮，会对生长羔羊的血清抗氧化能力造成损伤，原因是木薯渣中含有单宁、氰苷等抗营养因子[29]。研究表明，单宁会对小鼠抗氧化能力造成损伤[30]。饲粮中木薯渣添加比例过高，会对羔羊机体抗氧化能力造损害。

3.4　饲粮添加木薯渣对羔羊血清生化指标的影响

血清TP和Alb的含量能够反映动物机体的营养状况以及对蛋白质的吸收代谢情况[31]。血清中TP含量降低表明饲粮蛋白质不足，机体蛋白质合成受阻。血清TP和Alb含量提高，表明机体代谢旺盛，动物生长良好。在本试验中，随着饲粮中木薯渣添加比例的提高，血清TP和Alb含量先增加后减少，表明饲粮中低添加比例的木薯渣能够满足生长羔羊机体对蛋白质的需要，增加了蛋白质的合成，进而促进了动物生长，这与生长性能变化趋势一致。但木薯

渣添加比例过高，血清TP含量下降，可能是由于过高含量的木薯渣中单宁和氢氰酸含量过高，影响了生长羔羊对蛋白质的利用。然而李景伟[10]研究表明，随木薯渣添加比例的增高，血清TP与Alb含量有下降趋势，原因可能是其试验羊采食量受到影响，而本试验中木薯渣没有影响到生长羔羊的采食，不会降低蛋白质的合成。Oni等[32]曾报道了与本试验相同的结果。本试验中，B、C、D组血清Glb含量显著高于A组，这表明添加木薯渣提高了生长羔羊的体液免疫能力。血清A/G降低常见于肝功能损伤，本试验中，B、C、D组血清A/G显著低于A组，但C组血清A/G下降并不是由于Alb含量的下降所致，而是其中Alb含量增加较慢所致。D组A/G下降则是由于Alb含量的下降所致。木薯渣的添加比例超过10%会对生长羔羊的肝脏造成损伤，原因是木薯渣中含有单宁和氰苷，会对肝脏造成损伤[33]。

本试验中4组之间血清GLU含量没有显著性差异，这与Oni等[32]和唐春梅等[34]研究结果一致，表明生长羔羊饲粮中添加木薯渣，不会影响生长羔羊葡萄糖代谢。本试验中，随着饲粮木薯渣添加比例的增加，血清中TG含量先上升后下降，表明饲粮中添木薯渣能够提高生长羔羊对脂肪的利用率，但饲粮中木薯渣含量过高可能影响生长羔羊对脂肪的利用。

正常情况下，机体内的 ALT 和 AST 主要来自于肝脏，ALT 和 AST 是肝功检测的重要指标。如果肝脏受到损伤，血清中 ALT 和 AST 活性升高[35]。本试验中，各组之间血清 ALT 活性差异不显著，AST 活性随木薯渣添加比例的增加先下降后升高，这说明高添加比例的木薯渣可能会对生长羔羊的肝功能造成损害。但唐春梅等[34]用发酵过的木薯渣饲喂肉牛发现木薯渣不会对其肝脏造成损伤，原因是发酵过的木薯渣氰苷含量大幅下降[36]，这也印证了血清 A/G 的变化。

血清 UA 和 Crea 含量反映机体蛋白质代谢和肾脏的健康程度。当肾脏受到损伤时，血清中 UA 和 Crea 含量升高[37]。本试验中，B、C、D 组较 A 组，血清中 UA 和 Crea 含量显著增高，Oni 等[32]曾报道了相同的结果，这表明饲喂高添加比例的木薯渣会对生长羔羊肾脏造成损伤。然而高俊峰[23]在黑山羊上研究发现饲粮中添加发酵木薯渣对血清中 UA 和 Crea 含量无显著性影响，原因是干木薯渣与发酵过的木薯渣相比，氰苷和单宁含量高，会对生长羔羊肾脏造成损害。研究表明，食物中的单宁会对小鼠肾脏造成损伤[33]。因此，综合上述生长性能和血清指标的变化，生长羔羊饲粮中添加 20%的木薯渣虽然提高了生长性能，但却对羔羊肝肾功能有损伤。本试验持续时间为 30 d，如果持续更长时间添加较高水平的木薯

渣必然会影响到羔羊的健康和生长性能。

3.5　饲粮添加木薯渣对羔羊瘤胃发酵指标的影响

瘤胃液的 pH 能够反映瘤胃的生理状况，正常的 pH 范围为 6~7[38]，本试验中 pH 范围为 6.70~6.88，处于正常范围之内，表明在生长羔羊饲粮中添加木薯渣没有损伤瘤胃，这与高俊峰[23]和王智博等[39]研究结果一致。氨态氮是蛋白质和内外源尿素的最终代谢产物，瘤胃中的微生物可以分解饲料产生氨态氮，同时也可利用氨态氮产生微生物蛋白，瘤胃液中氨态氮的正常浓度范围是 6.3~27.5 mg/dL，本试验中随木薯渣添加比例的增加，氨态氮浓度呈一次线性变化，氨态氮的浓度范围为 14.99~25.27 mg/dL，但属于正常范围，不会影响瘤胃微生物的正常生长，且能够满足微生物合成微生物蛋白的需要。Wanapat 等[40]和 Cherdthong 等[17]曾报道在羔羊饲粮中添加木薯渣，其瘤胃液氨态氮的浓度无显著变化，但也处于正常范围。VFA 是反刍动物重要的能量来源，可以为宿主提供大约 75%的能量。本试验 4 组之间瘤胃液中 TVFA、乙酸、丙酸、乙酸/丙酸、丁酸、戊酸、异戊酸含量均差异不显著，这表明在生长羔羊饲粮中添加木薯渣并没有改变瘤胃的发酵类型。

4　结　论

①随着饲粮中木薯渣添加比例的增加，羔羊生长性能显著提高。

②饲粮中添加木薯渣对营养物质的表观消化率和瘤胃发酵无影响。

③饲喂高添加比例的木薯渣降低了羔羊机体抗氧化能力，并且对生长羔羊肾脏功能造成损伤。

④综合羔羊生长性能、血清指标，建议木薯渣添加比例以低于20%为宜。

参考文献：

[1] TUDISCO R,GROSSI M,CALABRÒ S,et al.Influence of pasture on goat milk fatty acids and Stearoyl-CoA desaturase expression in milk somatic cells[J].Small Ruminant Research,2014,122(1/2/3):38–43.

[2] NGUYEN T A H,NGO H H,GUO W S,et al.Modification of agricultural waste/by-products for enhanced phosphate removal and recovery:potential and obstacles[J].Bioresource Technology,2014,169:750–762.

[3] 刘平.木薯渣饲料资源化开发研究[J].养殖与饲料,2009(1):55–59.

[4] WANAPAT M.Potential uses of local feed resources for ruminants[J].Tropical Animal Health and Production,2009,41(7):1035–1049.

[5] 周晓容,杨飞云,谢跃伟,等.发酵木薯渣在育肥猪上的应用效果研究[J].饲料工业,2014,35(17):99–101.

[6] PICOLI K P,MURAKAMI A E,NUNES R V,et al.Cassava starch factory residues in the diet of slow-growing broilers[J].Tropical Animal Health and Production,2014,46(8):1371–1381.

[7] DOS SANTOS V L F,FERREIRA M D A,DOS SANTOS G T,et al.Cassava peel as a replacement for corn in the diet of lactating cows[J].Tropical Animal Health and Production,2015,47(4):779–781.

[8] THANG C M,LEDIN I,BERTILSSON J.Effect of feeding cassava and/or Stylosanthes foliage on the performance of crossbred growing cattle[J].Tropical Animal Health and Production,2010,42(1):1–11.

[9] 吴端钦,张刚,张石蕊,等.木薯渣对生长肥育猪饲用价值的研究[J].中国畜牧兽医,2015,42(12):3239–3245.

[10] 李景伟.木薯渣对肉牛生产性能、屠宰性能、胴体品质及血清生化指标的影响[D].硕士学位论文.济南:山东农业大学,2015.

[11] 黄雅莉,邹彩霞,夏中生,等.发酵木薯渣替代不同比例象草对水牛体外瘤胃发酵特性的影响[Z]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会第十一次全国动物营养学术研讨会论文集.长沙:中国畜牧兽医学会动物营养学分会,2012.

[12] FILHO H B D S,VÉRAS R M L,FERREIRA M D A,et al.Liquid residue of cassava as a replacement for corn in the diets of sheep[J].Tropical Animal Health and Production,2015,47(6):1083–1088.

[13] 崔耀明,董晓芳,佟建明.我国食品及制造业糟渣类饲料资源的应用[J].动物营养学报,2014,26(7):1728–1737.

[14] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[15] 刘洁.肉用绵羊饲料代谢能与代谢蛋白质预测模型的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2012.

[16] 许贵善.20–35Kg杜寒杂交羔羊能量与蛋白质需要量参数的研究[D].博士学位论文. 北京:中国农业科学院,2013.
[17] CHERDTHONG A,PORNJANTUEK B,WACHIRAPAKORN C.Effect of feeding cassava bioethanol waste on nutrient intake,digestibility,and rumen fermentation in growing goats[J].Tropical Animal Health and Production,2016,48(7):1369–1374.
[18] ŞAHIN T,KAYA Ö,ELMALI D A,et al.Effects of dietary supplementation with distiller dried grain with solubles in growing lambs on growth,nutrient digestibility and rumen parameters[J].Revue De Médecine Vétérinaire,2013,164(4):173–178.
[19] PHOEMCHALARD C,URIYAPONGSON S,BERG E P.Effect of cassava bioethanol by-product and crude palm oil in Brahman×Thai native yearling heifer cattle diets: Ⅰ.nutrient digestibility and growth performance[J].Tropical Animal Health and Production,2014,46(4):663–668.
[20] GIBB D J,HAO X,MCALLISTER T A.Effect of dried distillers' grains from wheat on diet digestibility and performance of feedlot cattle[J].Canadian Journal of Animal Science,2008,88(4):659–665.
[21] DAVIDR M.Impact of NDF content and digestibility on dairy cow performance[J].WCDS Advances in Dairy Technology,2009,21:191–201.
[22] FASAE O A,ADU I F,AINA A B J,et al.Growth performance,carcass characteristics and meat sensory evaluation of West African dwarf sheep fed varying levels of maize and cassava hay[J].Tropical Animal Health and Production,2011,43(2):503–510.
[23] 高俊峰.发酵木薯渣对本地黑山羊生长性能、血液生化指标和养分消化代谢的影响[D].硕士学位论文. 南宁:广西大学,2013.
[24] 张潇月,李海利,齐大胜,等.红薯渣和木薯渣对生长獭兔的营养价值评定[J].动物营养学报,2014,26(7):1996–2002.
[25] GUIMARÃES G S,DA SILVA F F,DA SILVA L L,et al.Intake,digestibility and performance of lambs fed with diets containing cassava peels[J].Ciência E Agrotecnologia,2014,38(3):295–302.

[26] YANG W Z,BEAUCHEMIN K A.Physically effective fiber:method of determination and effects on chewing,ruminal acidosis,and digestion by dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2006,89(7):2618–2633.

[27] 张旭晖,王宝维,王雷,等.共轭亚油酸对鹅抗氧化功能与脂质过氧化的影响[J].动物营养学报,2007,19(3):305–310.

[28] 司方方,涂剑锋,刘天龙,等.四君子汤超微粉对脾虚小鼠总抗氧化能力和NO的影响[J].动物医学进展,2006,27(3):75–77.

[29] CAPPELLETTI B M,REGINATTO V,AMANTE E R,et al.Fermentative production of hydrogen from cassava processing wastewater by *Clostridium acetobutylicum*[J].Renewable Energy,2011,36(12):3367–3372.

[30] 秦绪军,海春旭,何伟,等.单宁急性毒性及其对小鼠丙二醛和抗氧化酶的影响[J].毒理学杂志,2004,18(2):79–81.

[31] 杨宏波,刘红,余同水,等.不同添加水平半胱胺对奶牛泌乳性能和血清生化指标的影响[J].中国农业大学学报,2015,20(5):201–208.

[32] ONI A O,ARIGBEDE O M,SOWANDE O S,et al.Haematological and serum biochemical parameters of West African Dwarf goats fed dried cassava leaves-based concentrate diets[J].Tropical Animal Health and Production,2012,44(3):483–490.

[33] 李婷婷.食物单宁和皂苷对小白鼠食物选择和生理指标的影响[D].硕士学位论文. 哈尔滨:东北林业大学,2010.

[34] 唐春梅,王之盛,万江虹,等.木薯渣日粮在夏季对育肥牛生产性能和血液生化指标的影响[J].中国畜牧杂志,2011,47(21):38–40.

[35] 马向明,杨在宾,杨维仁,等.日粮中添加不同水平维生素A对肉牛机体抗氧化能力的影响[J].动物营养学报,2005,17(4):31–35.

[36] VAN MAN N,WIKTORSSON H.Effect of molasses on nutritional quality of cassava and Gliricidia tops silage[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2002,15(9):1294–1299.

[37] 何欣,马秋刚,梁福广,等.氨基酸平衡日粮中不同蛋白质水平对生长猪生长性能及血清生

化指标的影响[J].中国畜牧杂志,2010,46(21):65–68.
[38] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2006.
[39] 王智博,王洁,王强,等.发酵木薯渣替代部分玉米对湖羊消化代谢的影响[J].畜牧与兽医,2016,48(11):83–86.
[40] WANAPAT M,POLYORACH S,CHANTHAKHOUN V,et al.Yeast-fermented cassava chip protein (YEFECAP) concentrate for lactating dairy cows fed on urea-lime treated rice straw[J].Livestock Science,2011,139(3):258–263.

Effects of Dietary Cassava Residue Supplementation on Growth Performance, Serum Indices and Rumen Fermentation Indexes of Growing Lambs

LYU Xiaokang WANG Jie WANG Shiqin CUI Kai DIAO Qiyu ZHANG Naifeng*

(*Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary cassava residues (CR) supplementation on growth performance, nutrient apparent digestibility, serum indices and rumen fermentation indexes of growing lambs. Ninety-six healthy *Hu* lambs of 3 to 4 months of age with similar body weight were randomly allocated into 4 groups with 6 replicates in each group and 4 lambs in each replicate. Lambs were fed with diets contained 0 (control), 5%, 10%, and 20% CR, respectively. The adjustment period lasted for 10 days and the experimental period lasted for 45 days. The results showed as follows: 1) final body weight, average daily feed intake and apparent digestibility were not significantly different among groups (P>0.05). Average daily gain and ratio of feed to gain were linearly increased and decreased, respectively, with the increase of CR supplementation proportion （P<0.05). 2） With the increase of CR supplementation proportion, serum total antioxidant capacity (T-AOC) showed a quadratic change of firstly decreased and then increased （P=0.007）, and control group was the highest; serum glutathione reductase (GSH) activity showed a quadratic change of firstly increased and then decreased （P=0.001）, and 10% group was significantly higher than the other groups （P<0.05); serum superoxide dismutase

*Corresponding author, professor, E-mail: zhangnaifeng@caas.cn (责任编辑　王智航)

(SOD) was linearly decreased （$P=0.010$）. 3） With the increase of CR supplemental proportion, serum contents of total protein (TP) and albumin (Alb) changed linearly and quadratically （$P<0.05$）； serum albumin/ globulin (A/G), aspartate aminotransferase (AST) activity， and contents of globulin (Glb) and triglyceride (TG) changed quadratically （$P<0.05$）； serumuric acid (UA) and creatinine (Crea) contents changed linearly（ $P<0.05$); serum alanine aminotransferase (ALT) activity and glucose content were not significantly different among groups （$P<0.05$). 4） Rumen fluid pH, concentrations of acetic acid, propionic acid, butyric acid, isovaleric acid and valeric acid， and acetic acid/propionic acid were not significantly different among groups（$P>0.05$). Therefore, dietary supplementation of CR can improve growth performance of growing lambs. But it may damage antioxidant capacity and kidney function with the high supplemental proportion of CR. It is suggested that the supplemental proportion of CR in diet of lambs should be less than 20%.

Key words: cassava residue; lamb; growth performance; apparent digestibility; serum index; rumen fermentation